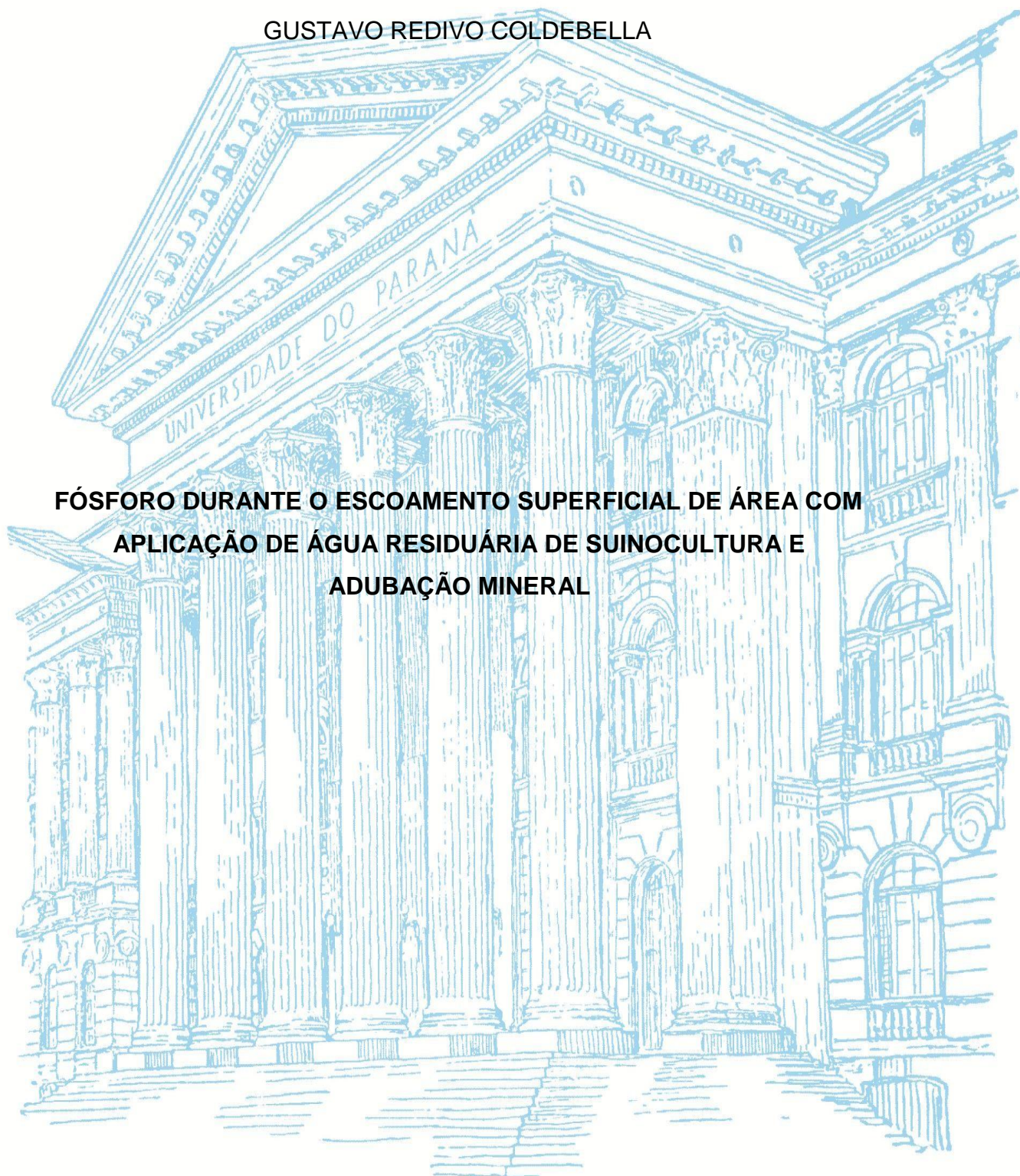


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – SETOR PALOTINA

GUSTAVO REDIVO COLDEBELLA

**FÓSFORO DURANTE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁREA COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E
ADUBAÇÃO MINERAL**



PALOTINA
2017

GUSTAVO REDIVO COLDEBELLA

FÓSFORO DURANTE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁREA COM
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E ADUBAÇÃO
MINERAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, como
parte das exigências para obtenção de título de
Engenheiro agrônomo.


Orientador: Prof. Dr. Jonathan Dieter

TERMO DE APROVAÇÃO

GUSTAVO REDIVO COLDEBELLA


FÓSFORO DURANTE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁREA
COM APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E
ADUBAÇÃO MINERAL.

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo, Curso de Agronomia no Setor Palotina da
Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Jonathan Dieter

Orientador – Departamento de Engenharia e Exatas - UFPR Setor Palotina



Prof. Dr. Mauricio Guy de Andrade

Departamento de Engenharia e Exatas - UFPR Setor Palotina



Eng. Agrônoma Camila Jussara Schmidt

Palotina, 15 de dezembro 2017

“Viva intensamente, desconfie do futuro, siga em frente, basta acreditar, vale a pena sonhar”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha família, que sempre esteve comigo, me apoiando, incentivado e ajudando para que tudo se realiza-se em minha vida, sendo eles hoje o motivo dessa minha conquista.

Ao meu avô (em memoria) Avelino Coldebella, que apesar de não ter visto eu iniciar a faculdade, era um dos que mais torciam para que eu conseguisse ser aprovado no vestibular.

Ao meu orientador, professor Dr. Jonathan Dieter, por me dar a oportunidade de trabalhar ao seu lado, e desenvolver esse trabalho, que foi uma grande experiência e aprendizado, e com certeza, sem a sua ajuda o mesmo não teria acontecido.

Aos professores do curso de Agronomia da Universidade federal do Paraná – Setor Palotina, que transmitiram seus conhecimentos a nós alunos, dedicando-se dentro e muitas vezes fora das salas de aula.

Fora de sala também agradeço a Katia Freitag e Vinicius Calça responsáveis por proporcionar bons momentos no Tapyokas Bar e Snack.

Aos meus amigos: Jonas Sonogo, Paulo Locatelli, Jose Mendes, Fabio Zambiasi, Gustavo Buosi, Guilherme Duim, Gabriela Gayoso, Jurandir Lazaro, Carlos Henrique Cavalher, Giovani Santos, Eduardo Henrique Freitag Frigo, Marcus Vinicius Meneghel, Cleberson de Brito, Da Roça, Vitor Linke, Rebecca Borba, Eloisa Senhorini, Lucas Passolongo, Eduarda Miranda, Heloisa Machado, Samuel Liebert, Henrique Lima, Gabriel Henrique Rodrigues de Souza, Mariana Zschornak, Henrique Muriana, Junior Siebert, Arthur Basso, Heloisa Basso, João Michelin, Heverton Baumgratz que durante a formação acadêmica estiveram ao meu lado em todos os momentos.

Enfim, a todos que de alguma forma participaram deste período tão especial da minha vida.

RESUMO

Aplicação deliberada de água residuária de suinocultura (ARS) tem potencial expressivo sobre o aumento da concentração de fósforo total (Pt) nas camadas superficiais do solo quando submetido ao sistema de plantio direto, sendo assim durante os eventos de precipitação a capacidade de arraste é aumentada através do escoamento superficial. O objetivo do trabalho foi avaliar os teores de fósforo total em um único período: Após a aplicação de adubações, utilizou-se ARS em diferentes concentrações: (0, 75, 150, 225 e 300m³ ha⁻¹) juntamente com as doses de adubação mineral (ADM) a 0,05 metros de profundidade nas doses de (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) recomendadas para a cultura. As parcelas utilizadas foram lísímetros suspensos com área de 0,70m², solo caracterizado e submetido ao sistema de plantio direto. Após a aplicação das adubações (orgânica e mineral) simulou-se precipitações em diferentes intensidades (Ip) (45, 60, 75, 90 e 105mm h⁻¹) nas parcelas submetidas também a declividades (*i*) distintas (4%, 9%, 14%, 19% e 24%). Foi coletado a solução escoada da superfície aos 24, 48 e 72 minutos após o início do escoamento. As amostras encaminhadas para análises laboratoriais com as devidas identificações. Determinou-se as concentrações de Pt das amostras coletadas. Utilizou-se delineamento composto central rotacional (DCCR), em planejamento fatorial completo 2⁴, com pontos axiais ($\alpha = (2^n)^{1/4}$). Observou-se que as concentrações de Pt tem relação positiva com os fatores independentes, foi possível observar que a ARS é o fator de maior influência no aumento da concentração de Pt na solução escoada seguido da *i* e a Ip. Portanto concentrações atingidas no período foi superior quando comparada com a estabelecida pela legislação, tendo, portanto, potencial de contaminação ambiental.

Palavras-chave: ARS, Fósforo, legislação.

ABSTRACT

Delayed application of swine wastewater (ARS) has significant potential on increasing the total phosphorus concentration (Pt) in the superficial layers when submitted to the no-tillage system, so during the precipitation events the drag capacity is increased through surface runoff. The objective of this work was to evaluate the total phosphorus content in a single period: After the application of fertilization, ARS was used in different concentrations: (0, 75, 150, 225 and 300m³ ha⁻¹) together with the fertilization doses (0%, 25%, 50%, 75% and 100%) recommended for the crop. The plots used were suspended lysimeters with an area of 0.70 m², soil characterized and submitted to no - tillage system. After application of the fertilization (organic and mineral), precipitations were simulated in different intensities (Ip) (45, 60, 75, 90 and 105mm h⁻¹ in the plots also submitted to distinct slopes (4%, 9% 14%, 19% and 24%) were collected and the samples were collected for laboratory analyzes with the appropriate identifications, and the Pt concentrations of the collected samples were determined, totaling 28 assays (DCC), in complete factorial design 24, with axial points ($\alpha = (2n)^{1/4}$). The Pt concentrations were positively related to the independent factors, it was possible. It should be noted that the ARS is the most influential factor in increasing the concentration of Pt in the drained solution followed by the i.e. Ip. Thus, concentrations reached in the period were higher than those established by the legislation, and environmental contamination.

Keywords: ARS. Phosphorus. Legislation

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO.	17
TABELA 2 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO PARA OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARIÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.	18
TABELA 3 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETE 2 ⁴ COM OS VALORES REAIS E CODIFICADOS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E <i>i</i> ...19	19
TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADA AO SOLO.....	21
TABELA 5 – RESUMO DA ANOVA REFERENTE AO TRANSPORTE DE PT JUNTO AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	24
TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	25
TABELA 7 – MODELO DE REGRESSÃO LINEAR.....	25

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 24 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).....27

GRÁFICO 2: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 48 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).....28

GRÁFICO 3: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 72 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).....29

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- LISÍMETRO DE DRENAGEM SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (A) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (B) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM “A”; (C) LOCAL DE COLETA DO LIXIVIADO; (D) SISTEMA DE INCLINAÇÃO DO SOLO.....	20
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 METODOLOGIA	17
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	17
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	17
3.3 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO	19
3.3.1 CONFECÇÃO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS	19
3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARS	20
3.3.3 PROCESSOS DE ADUBAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CHUVA	21
3.3.4 SEMEADURA DO MILHO E ADUBAÇÃO MINERAL	21
3.3.5 SIMULAÇÃO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (Ip)	22
3.3.6 REALIZAÇÃO DA COLETA DA SOLUÇÃO ESCOADA	22
3.3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS	22
3.3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	23
4 RESULTADOS	24
4.1 FÓSFORO TOTAL (Pt)	24
4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA	25
4.2 LEGISLAÇÃO	31
5 CONCLUSÃO	32

1 INTRODUÇÃO REFERENCIADA

Os dejetos líquidos de suínos vêm sendo utilizado em áreas de pastagens e também em lavouras, como fonte de nutrientes, sendo importante na ciclagem dos mesmos dentro das próprias unidades de produção. O fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes constituintes do dejetos líquido de suíno sob o ponto de vista nutricional de plantas, porém preocupante em relação a contaminação das águas.

Os crescentes avanços em escala de produção da suinocultura brasileira fizeram com que as quantidades de dejetos aumentassem consideravelmente, gerando um problema com a disposição correta deste resíduo (BERWANGER, 2006)

Uma alternativa para resolver este problema é a utilização dos dejetos líquidos de suínos como fonte de fertilizante na agricultura. A aplicação deste resíduo no solo é uma forma de ciclar e disponibilizar nutrientes às plantas, além possibilitar uma destinação adequada para esse material (CERETTA et. al., 2005).

A percepção do produtor rural de que a adubação aplicada ao solo, quando orientada ao fósforo (P), deve apenas obedecer a critérios produtivos e econômicos, desconsiderando assim as questões ambientais que acabam sendo reforçadas já que segundo CONAMA (2009), o elemento fósforo não é reconhecido como possível contaminante de solo pela legislação brasileira.

Os impactos causados a ambientes aquáticos devido ao transporte de nutrientes pelo escoamento superficial, tal como o P, podem ser amenizados. BITTENCOURT E GOBBI (2006), concluíram em estudo realizado que a recomposição da mata ciliar e o plantio direto foram suficientes para reduzir a quantidade de P que chegava ao reservatório Piraquara II. E que dentre as duas medidas de controle a que se mostra mais eficaz é a mata ciliar com floresta, devido a capacidade de filtragem dos nutrientes.

Em razão do potencial poluente do P, quando aplicado deliberadamente ao solo podendo assim ter consequências danosas ao meio ambiente, principalmente quando transportado para águas superficiais, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência do tempo entre a aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) e a primeira precipitação, no transporte de fósforo para águas superficiais.

Dentre as fontes utilizadas de P na agricultura, está a aplicação de ARS

(água residuária de suinocultura), uma vez que representa recurso interno nas propriedades rurais, torna-se atraente economicamente ao produtor. Quando aplicada, a ARS tem potencial para aumentar a quantidade de grãos e melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo, como o aumento da matéria orgânica e a fertilidade, já que os nutrientes contidos, após a mineralização podem ser absorvidos pelas plantas, da mesma forma que os fertilizantes químicos (SEGRANFREDO, 2007).

Segundo Scherer *et al.*, (1996), a aplicação da ARS exige cautela, pois apesar de ser fonte de nutrientes, é considerada como fertilizante não balanceado, deixando as vezes de atender as necessidades nutricionais das plantas e a disponibilidade de nutrientes no solo, ou até mesmo efeito contrário, promovendo excesso de alguns.

Após a realização de estudo com aplicação de 0, 20, 40 e 80 m³ ha¹ de ARS (água residuária de suinocultura) em solo argissolo, conduzido em sistema de plantio direto, Ceretta *et al.*, (2010) concluiu que o transporte de fósforo através de escoamento superficial não deve-se apenas a quantidade deste elemento presente na aplicação da ARS, mas principalmente o intervalo entre a aplicação e a primeira enxurrada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o transporte de fósforo total durante o escoamento superficial após a aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) e adubação mineral em solos com diferentes declividades, submetidos a diferentes intensidades de precipitação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- avaliar os teores de fósforo total arrastado durante o escoamento superficial.
- avaliar o efeito dos fatores independentes sobre as concentrações de fósforo total na solução escoada.
- comparar as concentrações de fósforo total na solução escoada com as máximas permitidas pela legislação em ambientes aquáticos.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Paraná – Setor de Palotina, cuja localização geográfica fica a 24° 17' 36" de latitude Sul e 53° 50' 26" de longitude Oeste e altitude de 348 metros. O clima é do tipo subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1640 mm. O município apresenta temperatura média de 21° C e a umidade relativa do ar média é de 75 a 80% (IAPAR, 2014). O solo da área é classificado como latossolo vermelho eutroferico (EMBRABA, 2013). Inicialmente, o solo foi caracterizado de 0-0,20 m de profundidade, o qual apresentou 67,5 % de argila, 16,9 % de silte e 15,9 % de areia. As propriedades químicas estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1- PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO.

Parâmetro	pH	CE	MO	H ⁺ +Al ³⁺ :	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC
	H ₂ O	µS.cm ⁻¹	g dm ⁻¹	-----	mmolc dm ⁻³			-----	
Média*	5.87 5	307	23.5	38	56.2	15	3.1	74.8	112.8
DP	±0.1 89	±42.7	±3.7	±4.7	±14.6	±4.1	±0.9	±18.7	±15.97
Parâmetro	V	Mn ⁺²	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Zn ⁺²	B	N	P	S
	%	----- mg dm ⁻³ -----							
Média*	65	127	9.35	23	6.1	0.35	1505	55.3	4.5
DP	±8.3	±5.9	±1.1	±3.3	±1.2	±0.03	±265	±15.2	±1.732

Protocolos de EMBRAPA (1997), TEDESCO et al. (1995) e RAIJ et al. (2001). P, K⁺, Cu⁺², Zn⁺², Fe⁺² e Mn: extrator Mehlich-1; Ca⁺² e Mg⁺²: KCl 1 M. * médias (n=4); DP: Desvio Padrão; pH: (H₂O); CE: Condutividade elétrica; M.O: Matéria Orgânica; H⁺+Al³⁺: Hidrogênio+alumínio (acidez trocável); Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; K⁺: Potássio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases; Mn⁺²: Manganês; Cu⁺²: Cobre; Fe⁺²: Ferro; Zn⁺²: Zinco; B: Borro N: Nitrogênio total; P: Fósforo; S: Enxofre;

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se delineamento composto central rotacional (DCCR) (HAALAND, 1989), em planejamento fatorial completo 2⁴, com pontos axiais ($\alpha = (2^n)^{1/4}$). Em resumo foram, vinte e oito ensaios, sendo dezesseis ensaios fatoriais, quatro centrais e oito axiais.

Os níveis dos quatro fatores independentes estudados podem ser observados na Tabela 2. Foram determinados cinco níveis, adotando dois níveis

desejados e os demais por meio de interpolação.

TABELA 2- MATRIZ DO PLANEJAMENTO PARA OS NÍVEIS ESTABELECIDOS (VARIÁVEIS CODIFICADAS) E SEUS VALORES CORRESPONDENTES (VARIÁVEIS REAIS) PARA OS QUATRO FATORES ESTUDADOS.

FATORES	NÍVEIS (CODIFICADOS)				
	-2 (α)	-1	0	1	+2 (α)
ARS ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	0	75	150	225	300
ADM (%)	0	25	50	75	100
Ip (mm h^{-1})	45	60	75	90	105
i (%)	4	9	14	19	24

α): Pontos axiais calculado por $\alpha = (2^n)^{1/4}$, com $n=4$./ ARS ($\text{m}^3 \text{há}^{-1}$) Água residuária de suinocultura./ ADM (%) Adubação mineral./ Ip (mm h^{-1}) Intensidade de precipitação./ i (%) declividade.

Estudos realizados na região oeste do Paraná, indicaram doses limites para a aplicação de ARS, os dois níveis utilizados para determinação das doses a serem aplicadas durante a condução do experimento tiveram como base estes estudos. (-2= 0 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ e +2= 300 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). (PRIOR *et. al.*, 2013; TESSARO *et. al.*, 2011). A definição dos níveis da ADM foram definidos como recomendação máxima e mínima. (+2= 100%) e (-2= 0%), respectivamente, sendo 0% a não utilização de ADM. A simulação de precipitação (Ip) teve como base de cálculo a intensidade de 60 mm h^{-1} (-1) utilizadas nos estudos de DAL BOSCO *et. al.*, (2008) e MORI *et. al.*, (2009) e, a lâmina de 45 mm h^{-1} (-2) suficiente para escoamento superficial. Para simular condições mais próximas a realidade de campo, foram utilizados diferentes declividades i (%), a fim de ilustrar a topografia da região. Confeccionou-se a matriz do planejamento completo 2^4 , após a determinação dos níveis dos fatores independentes já expostos na Tabela 2. A matriz apresentada na Tabela 3, conta com os valores reais (utilizados a campo) e codificados (utilizados na análise estatística) dos fatores independentes, totalizando vinte e oito (28) ensaios realizados.

TABELA 3- MATRIZ DO PLANEJAMENTO COMPLETE 2⁴ COM OS VALORES REAIS E CODIFICADOS DOS FATORES INDEPENDENTES: ARS, ADM, Ip E *i*.

Ensaio	ARS	ADM	Ip	<i>i</i>	Ensaio	ARS	ADM	Ip	<i>i</i>
	m ³ ha ⁻¹	%	mm h ⁻¹	(%)		m ³ ha ⁻¹	%	mm h ⁻¹	%
1 ¹	75	25	60	9	15 ¹	75	75	90	19
2 ¹	225	25	60	9	16 ¹	225	75	90	19
3 ¹	75	75	60	9	17 ²	150	50	75	14
4 ¹	225	75	60	9	18 ²	150	50	75	14
5 ¹	75	25	90	9	19 ²	150	50	75	14
6 ¹	225	25	90	9	20 ²	150	50	75	14
7 ¹	75	75	90	9	21 ³	0	50	75	14
8 ¹	225	75	90	9	22 ³	300	50	75	14
9 ¹	75	25	60	19	23 ³	150	0	75	14
10 ¹	225	25	60	19	24 ³	150	100	75	14
11 ¹	75	75	60	19	25 ³	150	50	45	14
12 ¹	225	75	60	19	26 ³	150	50	105	14
13 ¹	75	25	90	19	27 ³	150	50	75	4
14 ¹	225	25	90	19	28 ³	150	50	75	24

¹ ensaios fatoriais; ² ensaios centrais; ³ ensaios axiais.

3.3 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO

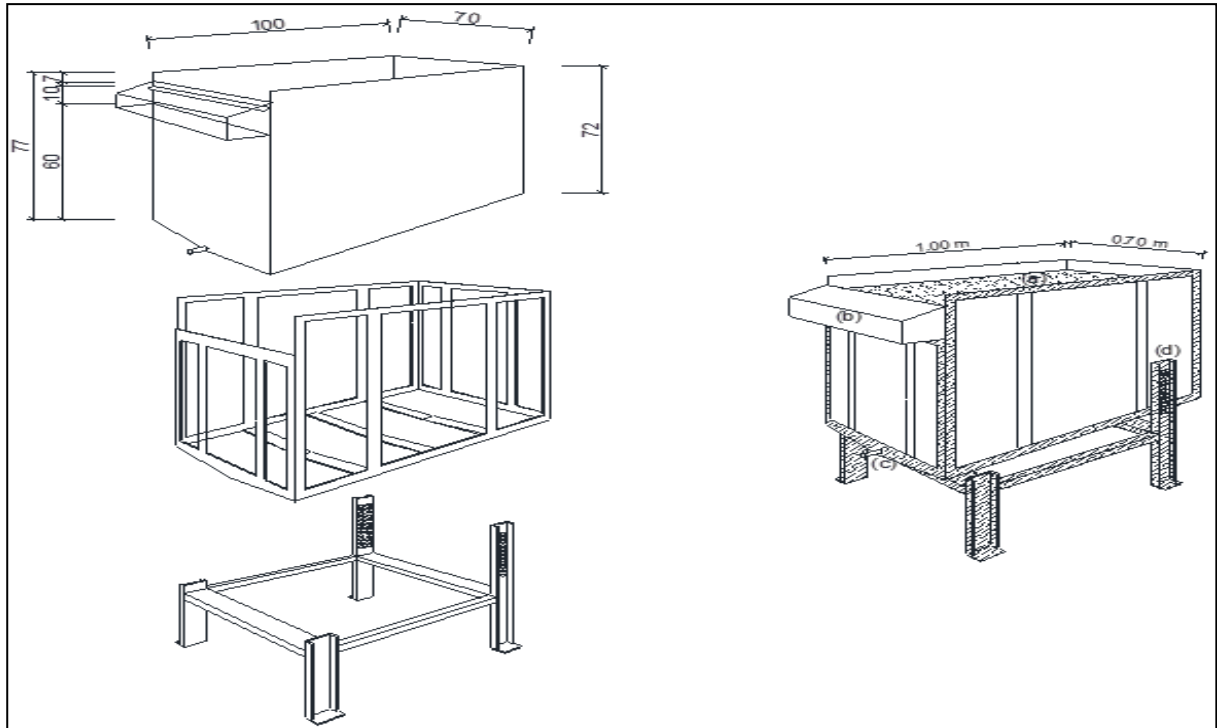
3.3.1 CONFECÇÃO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

O desenvolvimento de lisímetros de drenagem suspensos possibilitaram a coleta do escoamento superficial. Confeccionados com polietileno rotomoldado nas medidas de 0,70 m x 1,00 m, totalizando uma área útil de 0,7 m² para coletar o escoamento. O fundo de cada lisímetro possui inclinação de 5 % e é sustentado por uma estrutura metálica permitindo o ajuste da declividade desejada. (FIGURA 1).

O solo utilizado para enchimento dos lisímetros foi coletado de área agrícola conduzida no sistema de plantio direto, acondicionando na mesma ordem natural, 0,60 m. de solo. Antes do solo, o fundo de cada lisímetro foi preparado com uma camada de pedra brita, lavada com solução de HCL 0,1 mol L⁻¹, seguido de uma

manta filtrante (Bidim). Seis meses foram respeitados para acomodação do solo, necessitando reposição da diferença ao fim desse prazo.

FIGURA 1- LISÍMETRO DE DRENAGEM, SUSPENSO COM COLETA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E LIXIVIADO. (A) ÁREA ÚTIL DE EXPERIMENTAÇÃO; (B) COLETOR DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO EM "A"; (C) LOCAL DE COLETA DO LIXIVIADO; (D)



FONTE: Dieter (2013)

3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARS

Com o auxílio de um regador de forma manual, a ARS foi aplicada nas dosagens demonstradas na tabela 2 (0; 75; 150; 225; e 300m³ ha⁻¹) sobre a área útil da parcela (7 m²), evitando a ocorrência de escoamento superficial.

A ARS utilizada durante todo o experimento foi coletada na saída do biodigestor de uma UPL (Unidade de produção de leitões). As características físicas-químicas podem ser observadas na tabela 4.

TABELA 4- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS) APLICADA AO SOLO.

Parâmetros	Unidades	Valores	Parâmetros	Unidades	Valor
pH	-	7,8	Manganês	mg L ⁻¹	1,0
Condutividade Elétrica	μS m ⁻¹	7.300,0	Zinco	mg L ⁻¹	46,0
Carbono Orgânico	mg L ⁻¹	1325,0	Ferro	mg L ⁻¹	26,3
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	1107,0	DQO	mg L ⁻¹	68.80
Fósforo	mg L ⁻¹	322,0	Turbidez	UNT	2.138
Potássio	mg L ⁻¹	592,0	Sólidos totais	mg L ⁻¹	11.60
Cálcio	mg L ⁻¹	511,0	Sólidos Fixos	mg L ⁻¹	5.400
Magnésio	mg L ⁻¹	152,0	Sólidos Voláteis	mg L ⁻¹	6.200
Enxofre	mg L ⁻¹	121,0	Sólidos Totais Dissolvidos	mg L ⁻¹	3.033
Sódio	mg L ⁻¹	540,0	Sólidos Fixos Dissolvidos	mg L ⁻¹	2.022
Boro	mg L ⁻¹	1,0	Sólidos Voláteis Dissolvidos	mg L ⁻¹	1.011
Cobre	mg L ⁻¹	5,6	-	-	-

Metodologia de determinação APHA, 1995

3.3.3 PROCESSOS DE ADUBAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CHUVA

Para o estudo dos vinte e oito ensaios, a coleta da solução escoada foi realizada em um único momento:

Após a aplicação da adubação, seguida da semeadura do milho + aplicação de ARS + Simulação da lp.

3.3.4 SEMEADURA DO MILHO E ADUBAÇÃO MINERAL

Manualmente em fevereiro de 2013 foi realizada a semeadura do milho, porém tentando sempre levar próxima as condições de campo. Semeou-se sob solo coberto por restos vegetais da soja TMG 7161 – 13 RR.

Utilizou-se o híbrido de milho 30A37 Hx RR da MORGAM Sementes e Tecnologia, com um espaçamento de 50cm entre linhas e 4 sementes por metro linear. Na Adubação de base utilizou-se a formulação 10-15-15, onde foi de 296 kg/ha⁻¹ (considerando 100% do recomendado) do fertilizante mineral, a uma profundidade de 0,05 m.

É importante ressaltar que a utilização das parcelas experimentais teve

início no ano de 2012, caracterizando assim uma situação de sucessão na prática de aplicação da ARS.

3.3.5 SIMULAÇÃO DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (I_p)

Para realização da simulação da I_p foi utilizado simulador de chuva InfiAsper/UFMS desenvolvido por Alves sobrinho *et al.*, (2008). As intensidades de precipitação foram as expostas na Tabela 2. (45, 60, 75, 90, 105 mm h⁻¹) sobre a área útil de escoamento da parcela (7 m²) durante um período de 72 min. de escoamento superficial. Esses valores de intensidade e tempo foram respeitados para o período APA

3.3.6 REALIZAÇÃO DA COLETA DA SOLUÇÃO ESCOADA

A coleta da solução resultante do escoamento superficial da área útil da parcela foi realizada durante 24, 48 e 72 minutos de escoamento efetivo. O tempo foi cronometrado somente a partir do início do escoamento propriamente dito, variando principalmente conforme a intensidade de precipitação imposta e a declividade de cada parcela.

Ao final da simulação de cada parcela, a amostra devidamente identificada seguia então ao laboratório de Análises de Biossistemas Agrícolas para a determinação da concentração de fósforo total presente nas soluções.

3.3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS

O Pt foi determinado pelo método do ácido ascórbico, aplicado às amostras submetidas à autoclavagem com persulfato de potássio em meio ácido conforme método 4500PB e 4500PE (APHA, 1995). Para leitura de absorbância, foi utilizado espectrofotômetro modelo DR/2010 marca Hach. Os resultados foram expressos em mg L⁻¹.

3.3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após as análises de tabulação e exploratória dos dados, realizou-se a análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas para se verificar quais fatores independentes e interações foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$) sobre as variáveis respostas (Pt). Determinados os fatores independentes e interações significativas, ajustou-se o modelo de regressão linear múltipla para que se correlacionassem os fatores independentes significativos com as variáveis respostas. Os coeficientes significativos do modelo foram avaliados pelo teste “F” e foram considerados apenas os modelos significativos ao nível de 5% de significância. Através do software Statistica

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os dados da Tabela 5 apontam os teores de fósforo total (mg L^{-1}) presentes na solução escoada da superfície.

TABELA 5 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DURANTE OS TEMPOS AVALIADOS.

Reais				Codificados				Pt		
ARS	ADM	Ip	i	ARS	ADM	Ip	I	24 min	48 min	72 min
150	50	45	14	0	0	-2	0	3,91	2,09	1,21
75	25	60	9	-1	-1	-1	-1	2,95	1,51	0,51
225	25	60	9	1	-1	-1	-1	3,94	2,43	0,75
75	75	60	9	-1	1	-1	-1	1,47	1,13	0,42
225	75	60	9	1	1	-1	-1	2,81	1,55	0,42
75	25	60	19	-1	-1	-1	1	2,09	1,51	1,18
225	25	60	19	1	-1	-1	1	5,07	1,63	1,21
75	75	60	19	-1	1	-1	1	1,37	1,24	0,54
225	75	60	19	1	1	-1	1	5,11	2,2	1,59
150	50	75	14	0	0	0	0	2,98	1,94	1,29
300	50	75	14	2	0	0	0	8,29	2,67	1,61
150	50	75	14	0	0	0	0	4,85	1,88	1,27
150	50	75	14	0	0	0	0	5,31	2,33	1,73
150	50	75	4	0	0	0	-2	1,64	1,26	0,77
150	50	75	14	0	0	0	0	2,78	1,82	1,19
0	50	75	14	-2	0	0	0	0,21	0,5	0,25
150	50	75	24	0	0	0	2	5,16	2,02	1,25
150	0	75	14	0	-2	0	0	7,12	1,72	1,19
150	100	75	14	0	2	0	0	6,09	1,99	1,32
75	25	90	19	-1	-1	1	1	2,9	1,51	0,91
225	25	90	19	1	-1	1	1	7,56	2,4	1,58
75	75	90	19	-1	1	1	1	3,2	1,62	0,95
225	75	90	19	1	1	1	1	6,95	2,1	1,68
75	25	90	9	-1	-1	1	-1	2,7	1,73	0,79
225	25	90	9	1	-1	1	-1	4,6	2,63	0,87
75	75	90	9	-1	1	1	-1	2,95	1,89	0,77
225	75	90	9	1	1	1	-1	4,44	2,44	1,59
150	50	105	14	0	0	2	0	5,4	1,91	1,3

4.1 FÓSFORO TOTAL (Pt)

A análise de variância em medida repetida no tempo (Tabela 6) foi obtida com os resultados das concentrações de Pt. Assim, verificou-se que o tempo referente ao escoamento possui influência significativa ($p\text{-valor} < 0,000$) sobre a resposta.

Apenas os fatores independentes que obtiveram interações significativas ($p\text{-valor}$

<0,05) com tempo foram considerados para construção dos modelos de regressão linear múltipla. Ocorreu a interação significativa entre o tempo e os fatores independentes ARS (p-valor = 0,000000), Ip (p-valor = 0,035521) e *i* (p-valor = 0,006897).

TABELA 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.

Efeitos	GL	p-valor
Média	1	0.000000*
ARS	1	0.000003*
ADM	1	0.467103
Ip	1	0.026356*
<i>i</i>	1	0.018224*
ARS*ADM	1	0.882930
ARS*Ip	1	0.524464
ADM*Ip	1	0.413282
ARS* <i>i</i>	1	0.119788
ADM* <i>i</i>	1	0.695510
Ip* <i>i</i>	1	0.863409
Error	17	
TEMPO	2	0.000000*
TEMPO*ARS	2	0.000000*
TEMPO*ADM	2	0.385649
TEMPO*Ip	2	0.035521*
TEMPO* <i>i</i>	2	0.006897*
TEMPO*ARS*ADM	2	0.841210
TEMPO*ARS*Ip	2	0.807147
TEMPO*ADM*Ip	2	0.817770
TEMPO*ARS* <i>i</i>	2	0.296555
TEMPO*ADM* <i>i</i>	2	0.846546
TEMPO*Ip* <i>i</i>	2	0.368981
Erro	34	

4.1.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE RESPOSTA

A Tabela 7 apresenta o modelo de regressão linear múltipla, ajustado sobre a variável resposta (Pt), o coeficiente de determinação (R^2) e o valor da razão de F_{cal}/F_{tab} , obtidos a partir da análise de variância para cada tempo de observação.

TABELA 7 – MODELO DE REGRESSÃO LINEAR.

Equação	Equação ¹	Tempo	R^2	F_{cal}/F_{tab}
	Pt (mg.L ⁻¹)			
Eq.1	Pt ₂₄ = 4,07 + 1,54ARS + 0,56Ip + 0,64 <i>i</i>	24 minutos	0,68	5,74*
Eq.2	Pt ₄₈ = 1,84 + 0,40ARS + 0,12Ip + 0,18 <i>i</i>	48 minutos	0,64	4,82*
Eq.3	Pt ₇₂ = 1,08 + 0,26ARS + 0,11Ip + 0,18 <i>i</i>	72 minutos	0,59	3,83*

O F precisa ser necessariamente maior que 1 para que haja assim relação entre as variáveis independentes e dependentes. Através de cálculos obteve-se o F, constando que ele é um valor significativo quando comparado com o F calculado pelo F tabelado sendo ($F_{cal}/F_{tab}>4$) esse valor ainda pode ser utilizado para a

extrapolação de dados. Nas três equações foi possível obter valor significativo, sendo apenas a equação um e dois com valor de F_{cal}/F_{tab} maior que 4,00 podendo assim utilizar para extrapolar os dados.

Avaliando os coeficientes angulares dos fatores independentes percebe-se a ordem de grandeza quando relacionado a influência sobre o aumento na concentração de Pt na solução escoada, sendo: $ARS > I_p > i$.

Na Eq. 1 onde temos o Pt aos 24 minutos, verifica-se o coeficiente de variação (R^2) 0,68, sendo que 65% do transporte do Pt explicados pelo modelo de equação ilustrado na Tabela 7.

É possível ainda estimar a influência dos fatores independentes. Verificou-se que o coeficiente angular da ARS na Eq 1. é de 1,54 e, possui influência em torno de 2,75 vezes maior que I_p (0,56) e 2,40 vezes maior que i (0,64), sobre a concentração de Pt na solução escoada na superfície. Em relação aos fatores i e I_p , o primeiro tem influência de 0,35 vezes maior que o segundo sobre a concentração de Pt da solução escoada.

Na Eq. 2, o coeficiente de determinação (R^2) apresentou 64% da variação, sendo explicado do transporte de Pt pela equação ilustrado na Tabela 7. Avaliando os coeficientes angulares dos fatores independentes, foi possível verificar que o coeficiente angular da ARS (0,40) irá possuir influência de aproximadamente 3,3 vezes maior quando relacionado com o I_p e 2,22 vezes maior quando relacionado com i , sobre a concentração de Pt na solução escoada na superfície. Já quando relacionado os fatores i e I_p , o primeiro fator terá a influência de 1,5 vezes quando relacionado com o segundo.

Como a exemplo da Eq. 1, a ordem de grandezas dos coeficientes angulares segue Água Residuarial Suina > Declividade > Intensidade de precipitação

Na Eq. 3 apresenta modelo de transporte de Pt aos 72 minutos. Segundo o coeficiente de determinação (R^2) apresentou 59% de variação do transporte de Pt, explicado através do modelo de equação ilustrado na tabela 7. Avaliando os coeficientes angulares dos fatores independentes foi possível verificar que o coeficiente angular da ARS (0,26) possui influência de aproximadamente 2,36 vezes quando relacionado com o fator de I_p , e 1,4 vezes maior quando relacionado com i sobre a concentração de Pt na solução escoada na superfície. Relacionando o fator i e I_p , o primeiro fator terá a influência de 1,6 vezes relacionando com o segundo.

GRÁFICO 1: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 24 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).

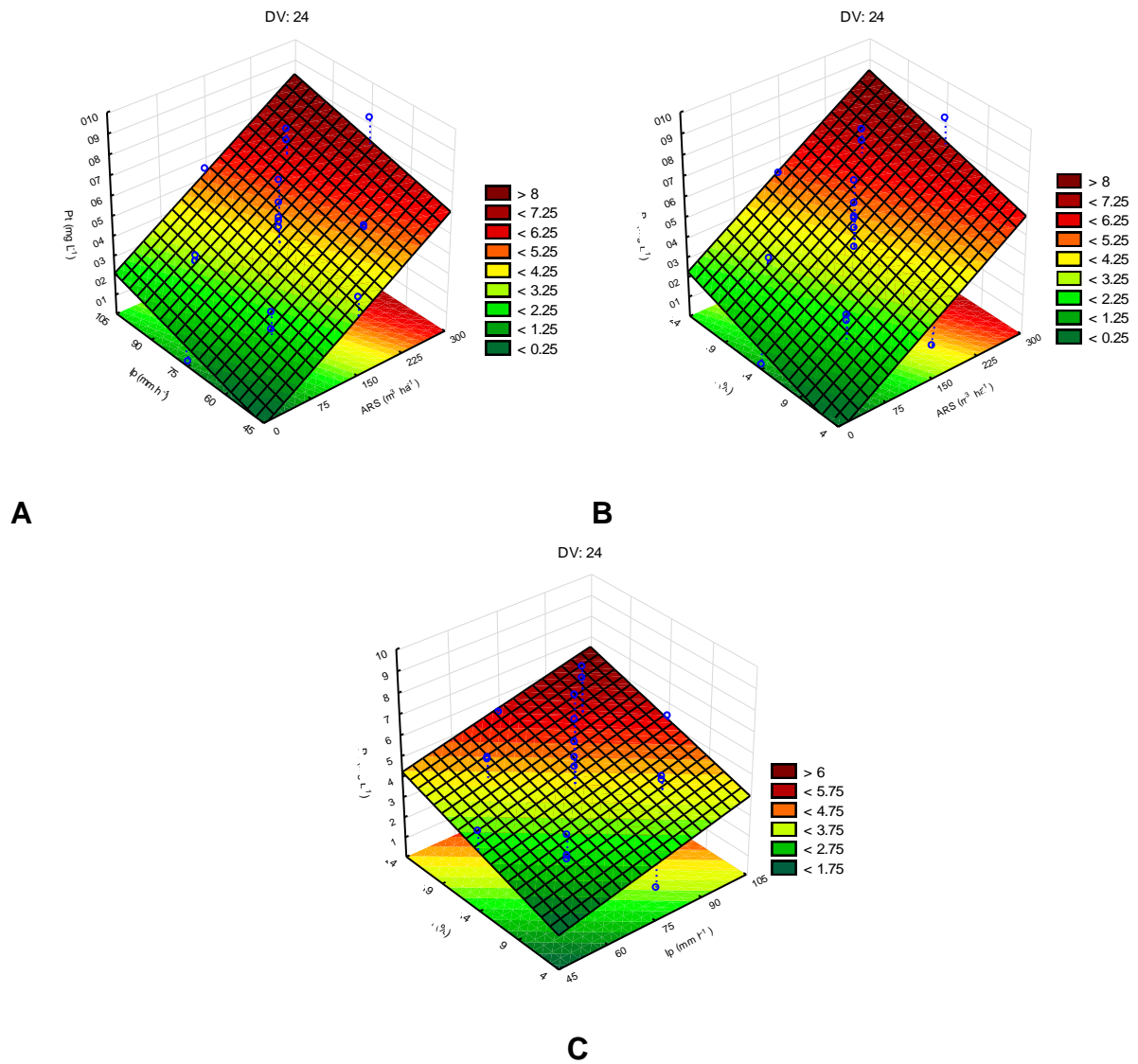
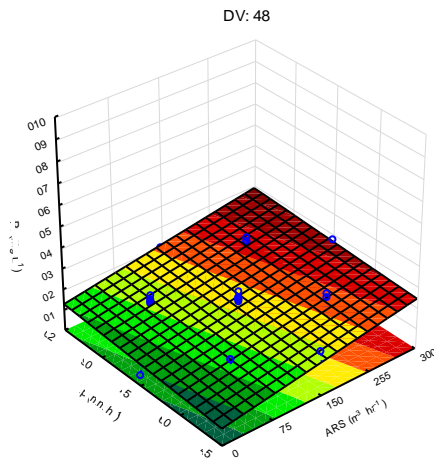
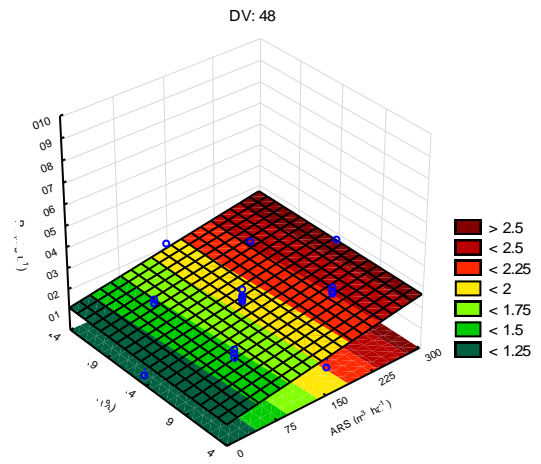


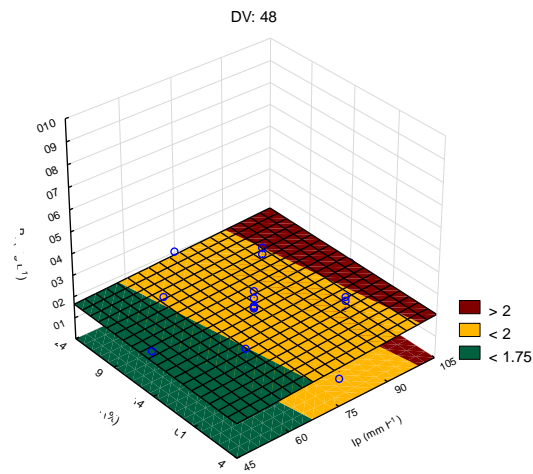
GRÁFICO 2: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 48 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).



A

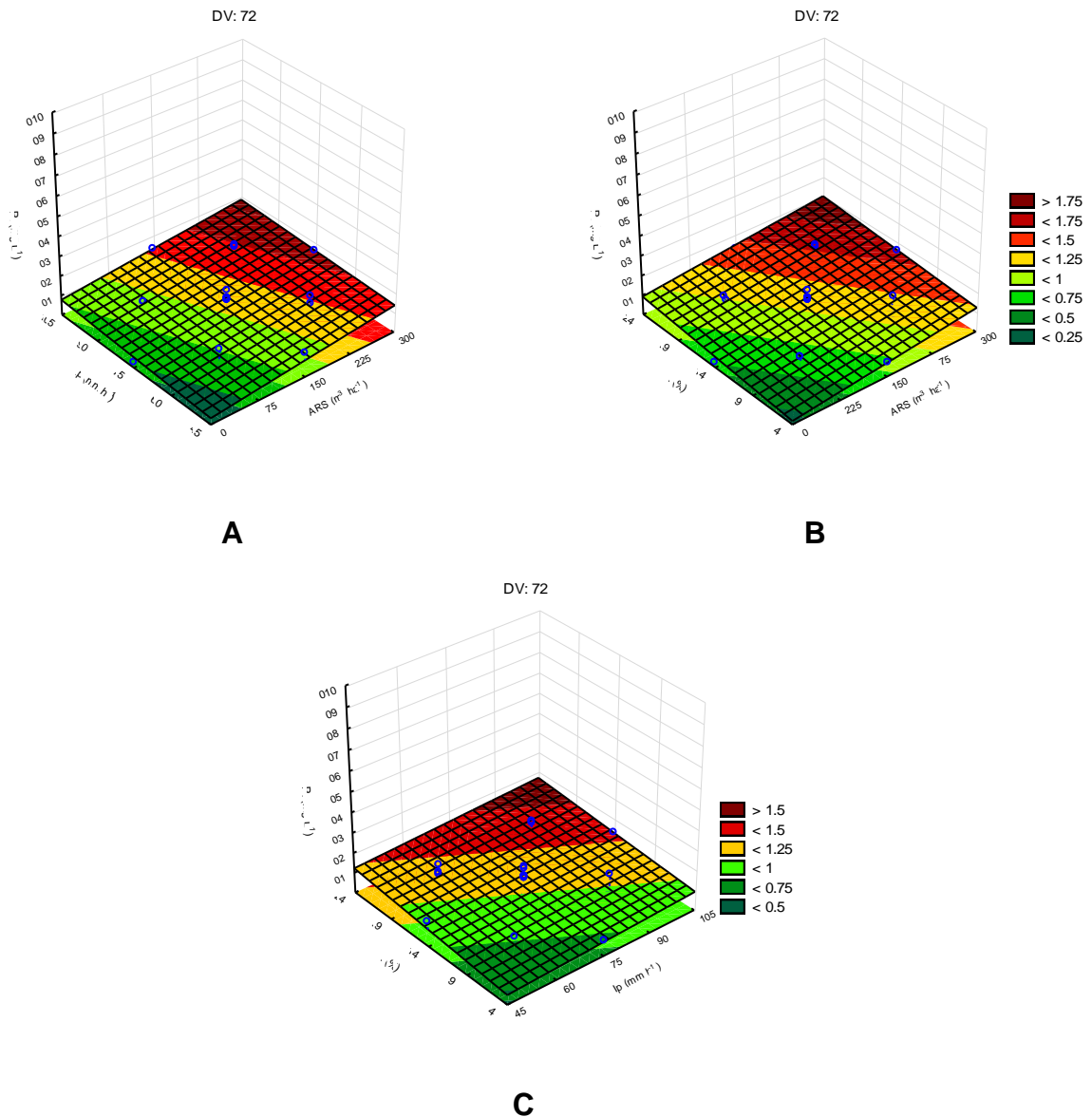


B



C

GRÁFICO 3: SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL AOS 72 MINUTOS EM FUNÇÃO DOS FATORES INDEPENDENTES. RELAÇÃO ARS E I_p (A), RELAÇÃO ARS E I (B) E RELAÇÃO I_p E I (C).



Quando comparamos os coeficientes angulares dos fatores independentes nas três equações apresentadas na Tabela 1, observamos a influência de cada fator no tempo.

Avaliando o coeficiente angular da ARS no tempo de 24 minutos (Eq. 1) quando comparada o tempo de 48 minutos (Eq. 2), é possível notar que diminuiu 3,85 vezes a concentração de fósforo total na solução escoada. Já quando comparamos os coeficientes angulares aos 48 minutos (Eq. 2) com 72 minutos (Eq. 3), conclui-se que diminuiu 1,5 vezes a concentração de fósforo escoada.

Quando comparados os coeficientes angulares da I_p , aos 24 minutos e 48 minutos a concentração de fósforo escoada diminuiu 4,6 vezes, porém comparando o tempo de I_p em 48 minutos com o de 72 minutos essa diminuição foi de 1,09 vezes.

Comparando os coeficientes angulares da Inclinação (i), nos tempos de 24 minutos e 48 minutos, verifica-se que a concentração de fósforo escoada diminuiu 3,5 vezes. Já quando comparados o tempo de 48 minutos com o de 72 minutos diminuiu em uma vez.

Com base nos estudos foi possível comprovar que a aplicação de ADM sobre o solo, diferentemente da forma aplicada no presente trabalho (0,05 m. abaixo do solo), proporcionou efeitos significativos na concentração de Pt junto a solução escoada na superfície. As fontes de fósforo utilizadas para o estudo foram água residuária de suinocultura e adubação mineral. Bertol *et al.*, (2010). Sendo assim quando aplicada ADM sobre o solo, torna-se provável a significância da concentração de Pt na solução escoada, diferente do que se observou nesse estudo, onde dentre as fontes de fósforo utilizada, somente a ARS proporcionou efeitos significativos, um dos motivos pode ser devido a maior solubilidade do fósforo contido na ARS e o próprio arraste da mesma pela enxurrada, sendo que a ARS foi aplicada sobre o solo, ao contrário da adubação mineral.

Comparando os fatores independentes a ARS se mostrou o mais significativo, e o dano causado no ambiente devido ao arraste do Pt juntamente ao escoamento superficial será maior que quando aplicado fertilizantes inorgânicos.

Seguindo a ordem de significância o segundo fator independente quando relacionado com a concentração de Pt na solução escoada comparada com a declividade do terreno (i), quanto maior a i maior a tendência de aumentar o Pt arrastado. É explicado pelo fato de quanto maior a declividade de um terreno consequentemente maior será a velocidade da enxurrada sobre ele, neste caso aumentando ainda mais a capacidade de transportar partículas de solo e sólidos da ARS presentes na superfície, onde ambos são enriquecidos com o P.

O fator de menor significância independente foi o (I_p), porém ainda teve relação positiva no aumento da concentração do Pt na solução escoada, foi possível avaliar que aumentando a intensidade de precipitação ira aumentar a concentração de Pt arrastado, sendo que uma intensidade de chuva maior o volume de enxurrada e o seu potencial de arraste de partículas de solo e sólidos da ARS são maiores

também, tomando como exemplo o fator i , porém é significativo apresentando um valor menor.

4.2 LEGISLAÇÃO

O fósforo é considerado um macro nutriente, sendo um dos principais para os processos biológicos devido a exigência em grandes quantidades pelas células. Porém pode ocorrer um processo chamado de eutrofização, que é quando concentrações de fósforo ultrapassam os valores máximos permitidos em ambientes aquáticos haverá risco de dano ambiental. Para ambientes lênticos (água parada) a concentração máxima de fósforo é de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$, já para ambientes lóticos (águas continentais moventes) a concentração máxima passa a ser $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2005).

Comparando os valores máximos de fósforo permitidos pela legislação, tanto em ambientes lêntico quanto lóticos, é possível traçar um paralelo com o presente trabalho, onde consta-se o potencial que as águas de escoamento superficial, provenientes da aplicação da ARS, tem em promover efeitos causados pela ARS, promovendo efeitos na qualidade das águas superficiais. É importante lembrar que o efeito causado pela ARS ainda pode ser mais potencializado por outros fatores independentes também estudados e descritos no trabalho, exemplo a declividade do terreno (i) e intensidade de precipitação (I_p).

5 CONCLUSÃO

- a água residuária suína tem o maior potencial de influência sobre o aumento da concentração de fósforo total na superfície, quando comparada com os outros fatores independentes, quais são: declividade, intensidade de precipitação
- os fatores independentes avaliados seguem a ordem Água residuária suína > declividade > Intensidade de precipitação na influência sobre o aumento da concentração de fósforo total na solução escoada.
- a Declividade e a intensidade de precipitação possuem relação positiva com o aumento da concentração de fósforo total na solução escoada, ou seja, os dois fatores podem potencializar o transporte de Fósforo total proveniente da água residuária suína via escoamento superficial.
- as concentrações de fósforo total estão acima das concentrações máximas permitidas pela legislação, representando portanto, potencial de contaminação ambiental.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H. G.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 163-170, 2008.

APHA (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, American Public Health Association, Inc., New York.

BERWANGER, A. L. Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos. 2006. 105f. **Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria

BITTENCOURT, S.; GOBBI, E. F.; CARGA MÁXIMA DE FÓSFORO ADMISSÍVEL AO RESERVATÓRIO PIRAQUARA II, UMA APLICAÇÃO DO PROCESSO TMDL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Curitiba, p.595-603, maio 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 58-63, 18 de março de 2005.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejetos líquidos de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p. 689-699, 2010.

DAL BOSCO, T. C.; SAMPAIO, S. C.; OPAZO, M. A. U.; GOMES, B. M.; NÓBREGA, L. H. P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 699-709, 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. 353 p. Embrapa solos. Brasília, DF. 2013.

HAALAND, P.D. Experimental design in Biotechnology. New York: Marcel Dekker, 1989 HEATHWAITE, L.; SHARPLEY, A.; GBUREK, W. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 158-166, 2000.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Agrometeorologia. 2014. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>> Acesso em: 23 de novembro. 2017.

MORI, H. F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W. L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 189-198, 2009.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P. ; OPAZO, M. A. U.; DIETER, J.; PEGORARO, T. Combined pig slurry and mineral fertilization for corn cultivation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, p. 337-348, 2013.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suíno da região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis, Epagri, 1996. 46 p. (Boletim técnico).

SEGANFREDO, M. A. Uso de dejetos suínos como fertilizantes orgânicos e seus riscos ambientais. In: **Gestão ambiental na suinicultura**. Brasília: Embrapa, 2007. p. 149-175.

TESSARO, D.; SAMPAIO, S. C.; ALVES, L. F. A.; DIETER, J.; CORDOVIL, C. S. C. M. S.; De VARENNES A. Edaphic mesofauna (springtails and mites) in soil cultivated with baby corn and treated with swine wastewater combined with chemical fertilization. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 9 n. 3 e 4, p. 983-987, 2011.

